Fotointerpretazione delle strutture oceanografiche quali appaiono nelle fotografie riprese durante i voli Gemini

Nella FIG. 1 *appaiono le coste del Texas e della Louisiana: nel momento in cui è stata scattata la fotografia le condizioni meteorologiche erano particolarmente favorevoli; il cielo era molto terso e l'aria era stata resa secca dall'afflusso di aria continentale associata al fronte freddo che due giorni prima, il 12 novembre 1966, aveva attraversato le regioni costiere.*

Il 14 novembre i venti spiravano ancora da nord-est, come risulta dal fumo emanato da un incendio nelle paludi lungo la costa della Louisiana (in alto a destra, nella foto), che tende a portarsi verso il mare, e dai fumi industriali della città di Houston (poco a destra della parte anteriore della navicella spaziale, visibile a sinistra nella foto), che tendono a sud-ovest.

In conseguenza della spinta dei venti, che avevano spirato con forza da settentrione per due giorni alla velocità di 26 km/h, le correnti costiere fluiscono verso sud-ovest e, come sempre avviene in casi simili, le acque delle lagune e degli estuari defluiscono verso il Golfo del Messico; nella fotografia si possono così osservare le acque cariche di sedimenti, caratterizzate da colore marrone chiaro, fluire dal Sabine Pass, attraverso il quale la Baia di Port Arthur (al centro della foto) comunica con il mare aperto, e dall'imbocco dei moli della Baia di Galveston (la baia più grande a contorni sinuosi quasi al centro della fotografia).

La linea di colore blu scuro che attraversa la Baia di Galveston è il canale navigabile di Houston, tracciato artificialmente mediante operazioni di dragaggio, e quella di colore chiaro che appare nella parte settentrionale della Baia corrisponde al materiale che è andato accumulandosi lungo i bordi del canale nel corso del primo e dei successivi dragaggi di manutenzione.

La traccia di colore chiaro che prosegue dalla bocca del canale verso la parte inferiore della Baia è dovuta all'acqua estremamente intorbidita dalle operazioni di dragaggio. L'orlo blu chiaro lungo le coste corrisponde alle acque torbide che si diffondono in mare dalle lagune costiere. Si può osservare chiaramente che all'esterno dei moli di Galveston e, in questo caso, sottocorrente si è formato un vortice di interferenza, mentre ancor più lontano, verso il mare aperto, a una distanza compresa tra 45 e 150 km dalla costa, si estendono vortici causati dall'attrito dell'acqua con la superficie della piattaforma continentale; quest'ultima, infatti, qui ha modesta profondità, che arriva a circa 100 m a 150 km dalla costa. A sud-est di Galveston l'acqua torbida, a causa della sua turbolenza, appare diffusa sopra i bassifondi Heald Banks e ne sottolinea la posizione e la configurazione. L'utilità pratica oltreché scientifica di rilevamenti fotografici ripetuti sulle acque del litorale del Texas e della Louisiana nasce dal fatto che sono la maggiore riserva di gamberi esistente nel mondo. I gamberi, nel corso del loro sviluppo, compiono due migrazioni, l'una allo stadio postlarvale, verso gli estuari costieri, l'altra allo stadio adulto, dagli estuari verso il mare aperto. La conoscenza dell'andamento delle correnti costiere permette di individuare la direzione e l'entità delle migrazioni e quindi di prevedere l'andamento dell'annata di pesca.

Nella FIG. 2 *il Sole viene riflesso in corrispondenza della Somalia francese, così che solo l'orlo della zona di riflessione*

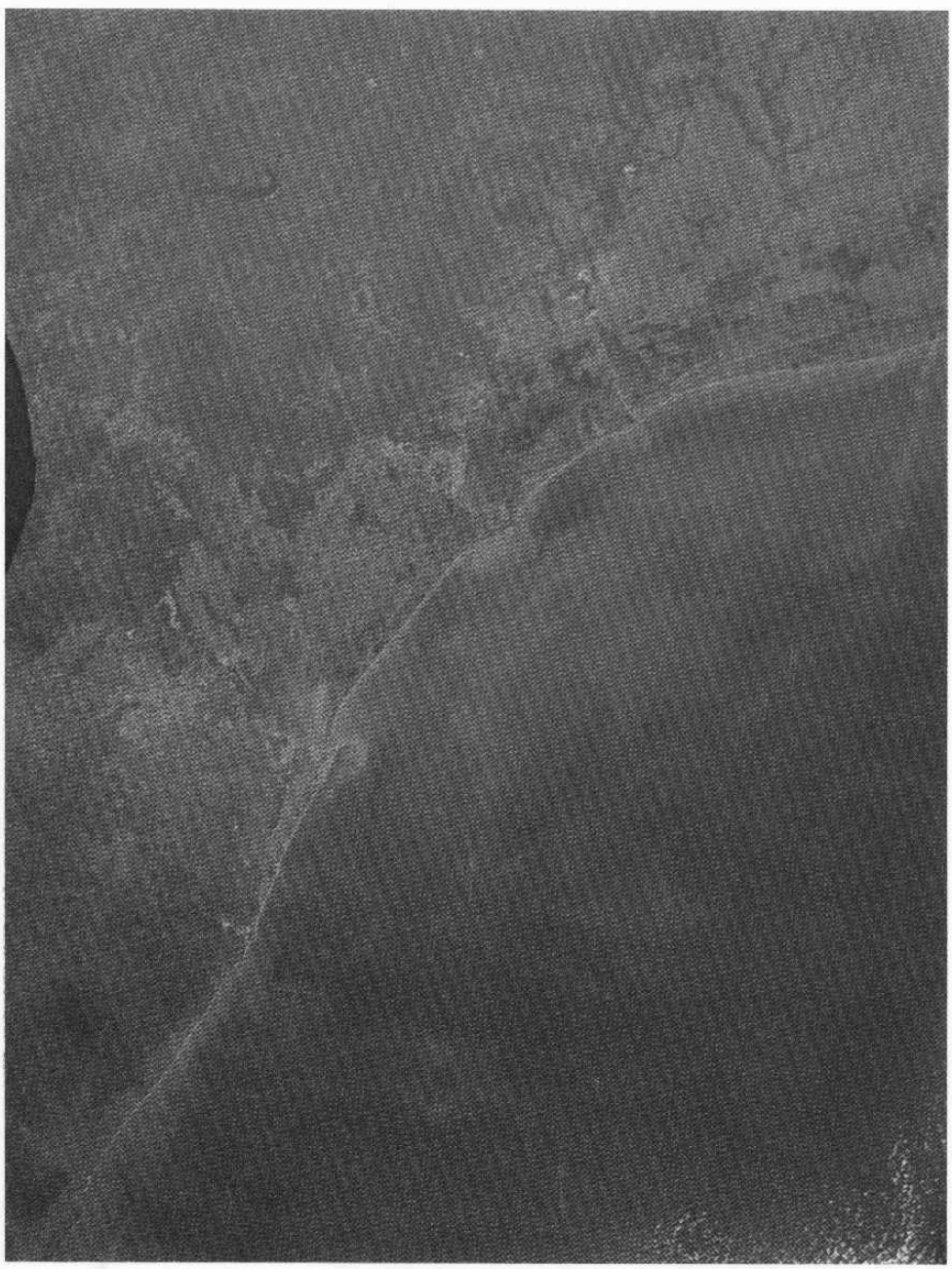

Fig. 1 Texas sud-orientale, Louisiana sud-occidentale e Golfo del Messico. Volo della 'Gemini XII' (14 novembre 1966); astronauti James A. Lovell Jr. e Edwin E. Aldrin; altitudine 330 km (*NASA/MSC*).

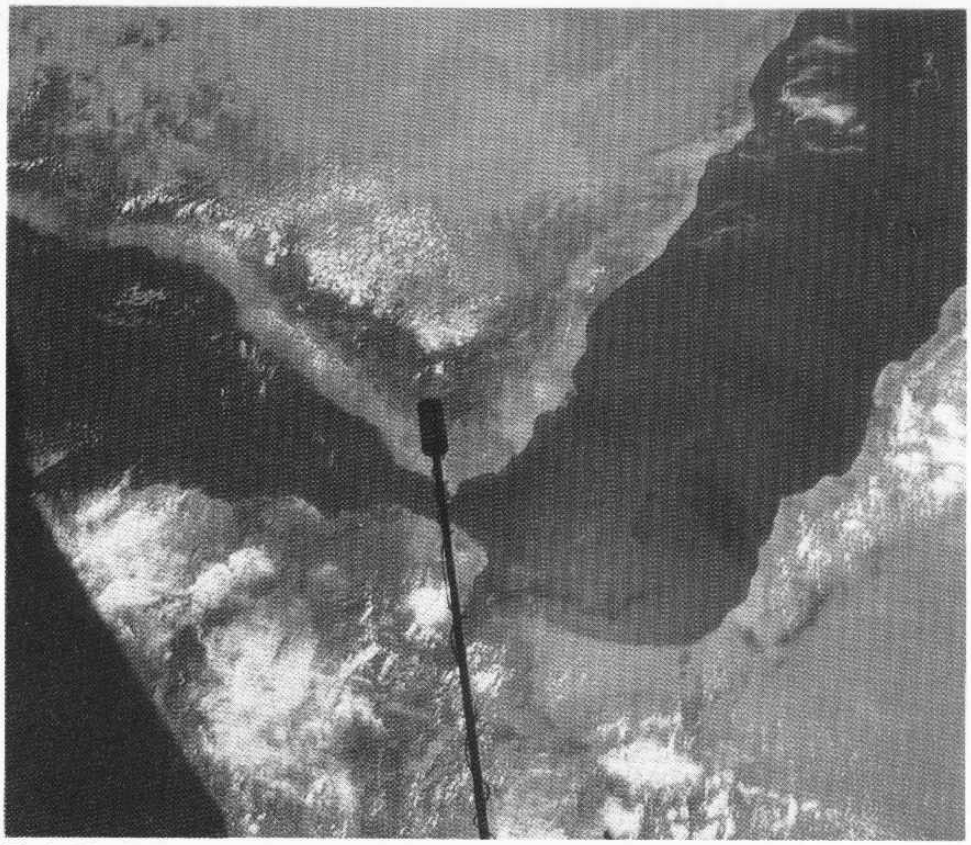

Fig.2 Mar Rosso, Golfo di Aden, Etiopia, Somalia, Arabia Saudita, Yemen e Arabia meridionale. 'Gemini XI' (14 sett. 1966); a bordo C. Conrad Jr. e R. F. Gordon Jr.; altitudine 649 km (*NASA / MSC*).

attraversa la zona occidentale del Golfo di Aden; le variazioni nell'intensità della luce riflessa dall'acqua dipendono dalla diversità delle increspature della sua superficie: l'acqua che si muove nella direzione del vento ha una superficie più liscia di quella che si muove controvento o che sta ferma. L'acqua increspata diffonde luce in tutte le direzioni, mentre il colore blu scuro corrisponde alle zone in cui la superficie dell'acqua è liscia. Nel giorno in cui è stata ripresa questa fotografia il vento era debole e variabile, e soffiava da ovest alla velocità di 7 km / h nel momento in cui è stata scattata. In settembre il livello del Mar Rosso tende a riassestarsi, dopo il grande deflusso dovuto all'evaporazione verificatasi nelle stagioni precedenti. Le sue acque, che raggiungono temperature di circa 32 °C e hanno salinità elevata, dell'ordine del 39-40‰, incominciano a fluire attraverso l'imboccatura dello stretto di Bab el-Mandeb (profondità 106 m) nella parte occidentale del Golfo di Aden. Le acque del Mar Rosso sono più dense di quelle degli strati superficiali del Golfo di Aden, che hanno una salinità del 36‰, e quindi scendono alla profondità di circa 180 m per fluire poi attraverso il Golfo di Aden, fino a raggiungere, alla profondità di circa 730 m, lo strato intermedio di acqua dell'Oceano Indianó occidentale. Il sistema di vortici visibile nella foto, là dove luccica il sole, sono dovuti al flusso superficiale e alla turbolenza causati dal deflusso dell'acqua del Mar Rosso, entro e al di sotto degli strati superficiali delle acque del Golfo di Aden; la foto consente anche di delineare le zone di convergenza e di divergenza e, se fossero state riprese fotografie con un obiettivo a maggiore lunghezza focale, sarebbe stato possibile rilevare anche vortici del diametro compreso tra i 3 e i 56 km. L'area nella quale, nella foto, sono visibili gli spostamenti di masse d'acqua ha una lunghezza di 250 km e una larghezza di 139 km. Una fotografia scattata qualche secondo più tardi, ma che qui non è riportata, mostra il fenomeno anche lungo le coste somale e la coppia di fotografie copre, nell'insieme, in un certo momento, un sistema di correnti che è lungo 463 km. Sistemi di correnti di questo genere possono costituire una delimitazione di importanti zone per l'esercizio della pesca, come probabilmente accade proprio nel Golfo di Aden, dove è noto che la fauna ittica è abbondante.

La FIG. 3 *si riferisce alla parte meridionale dell'Isola di Formosa: il principale sistema di correnti del Pacifico occidentale fluisce da sud verso nord, al di là di Formosa; attorno all'isola, invece, e particolarmente nello Stretto di Formosa (parte sinistra della costa), l'andamento delle correnti è complicato dalle maree, che rifluiscono a sud lun-*

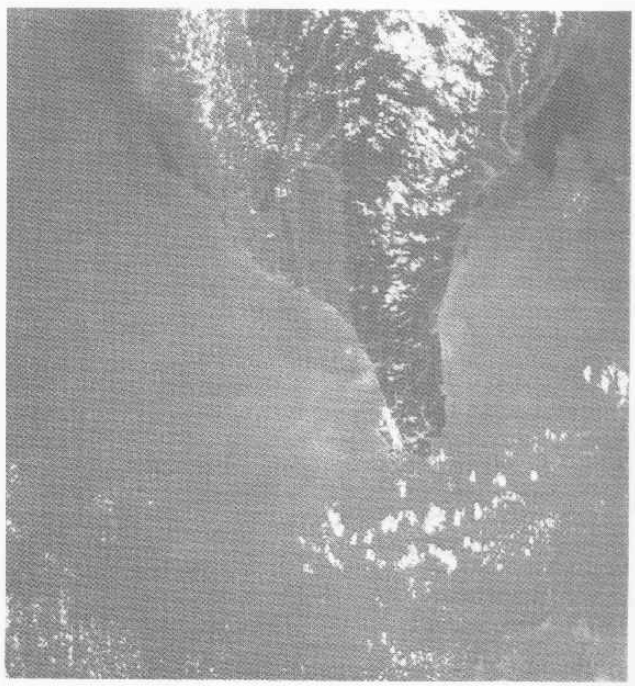

Fig.3 Formosa (parte a sud). Volo della 'Gemini X' (20 luglio 1966); astronauti John W. Joung e Michael Collins (*NASA / MSC*).

go le coste meridionali dell'isola. Il giorno antecedente a quello della ripresa fotografica, l'uragano Nina si trovava a 167 km a oriente di Formosa e non era ancora ben sviluppato; i venti rilevati non superavano la forza 3 nella scala Beaufort. A mezzogiorno del 20 luglio, ora di Greenwich, la tempesta si era risolta e attorno a Formosa spiravano venti provenienti da est, con forza 2. Il colore azzurro chiaro del mare che si vede nella fotografia dipende dalla diffusione della luce solare sulla superficie marina uniformemente increspata per l'effetto dei venti da est e da nord-est, particolarmente intenso nelle acque fluenti verso nord: il modo in cui la luce solare si riflette specularmente sulla superficie marina permette di delineare l'andamento dei movimenti dell'acqua attorno alla punta meridionale di Formosa. L'isola fende la corrente principale come una nave taglia l'acqua: e poiché l''onda di prua', per continuare il paragone, si spiega allontanandosi dall'isola, in prossimità della costa deve necessariamente verificarsi una risalita di acque per compensare quelle che se ne scostano, che sono in parte rappresentate dalle zone di colore blu scuro. I porti per i pescherecci delle coste occidentali dell'isola sono concentrati a nord della zona lagunare della costa sud-occidentale.

La FIG. 4 *è una fotografia spettacolare dell'India meridionale e della parte settentrionale di Ceylon. L'assenza di copertura nuvolosa lungo tutte le coste dell'India è probabilmente dovuta alla subsidenza dell'aria, che si verifica normalmente durante la brezza marina diurna. La carta del tempo meteorologico delle 12, ora di Greenwich, cioè di 5 ore dopo la ripresa della fotografia, indica venti orientati di traverso rispetto alla linea di spiaggia lungo tutte le coste, una zona di calma nella parte centrale dell'India e una debole depressione verso settentrione; la temperatura dell'aria lungo la costa era di circa 27 °C, mentre all'interno era di 3,5-5 °C più elevata, una condizione ideale per lo sviluppo della brezza di mare. La possibilità di vedere tale sistema nel suo insieme è di enorme interesse: non solo è stato per la prima volta possibile misurare con precisione l'estensione della zona di mare su cui spira la brezza, ma è stata anche costruita una carta sinottica della deriva dei venti di superficie, delle zone potenziali di risalita e di quelle di convergenza lungo l'intero decorso di una costa. Immagini di questo tipo, disponibili quotidianamente, sarebbero di valore incalcolabile per la pesca, la navigazione e la meteorologia. Al largo della zona interessata dalla brezza di mare, la particolare disposizione dei cumuli secondo lo schema delle cellule poligonali di Bérnard indica una distribuzione uniforme della temperatura dell'acqua e l'assenza di venti di superficie.*

Nella FIG. 5 *la Florida me-*

Fig.4 India, Ceylon, Isole Laccadive e Baia del Bengala. Volo della 'Gemini XI' (14 settembre 1966); a bordo gli astronauti Charles Conrad Jr. e Richard F. Gordon Jr.; altitudine 760 km (*NASA / MSC*).

ridionale, le Bahamas, e Cuba: benché la fotografia, notevolmente obliqua rispetto alla verticale, sia di grande effetto per la vastità dell'area e il tipo di paesaggio che vi sono rappresentati, si potrebbe sospettare che il riflesso della luce di Nassau. In secondo piano, nella zona centrale della fotografia, il Great Bahama Bank, da cui emergono le isole di Andros e di Bimini, si estende a sinistra verso la parte orientale di Cuba. Sullo sfondo si delinea Cuba, le cui province lare, dato che i tipi di riflesso differiscono a seconda della struttura della superficie riflettente, e possono essere individuate sopra il Little Bahama Bank, a ovest di Capo Sable in Florida, a ovest della Penisola di Zapata, dell'Isla costiere bagnate dalla Corrente del Golfo. Al di sotto del cappio che fuoriesce dal veicolo sono visibili le zone di calma ad andamento lineare che seguono i limiti esterni della Corrente del Golfo: ne è molto evidente la sinuosità, conse-

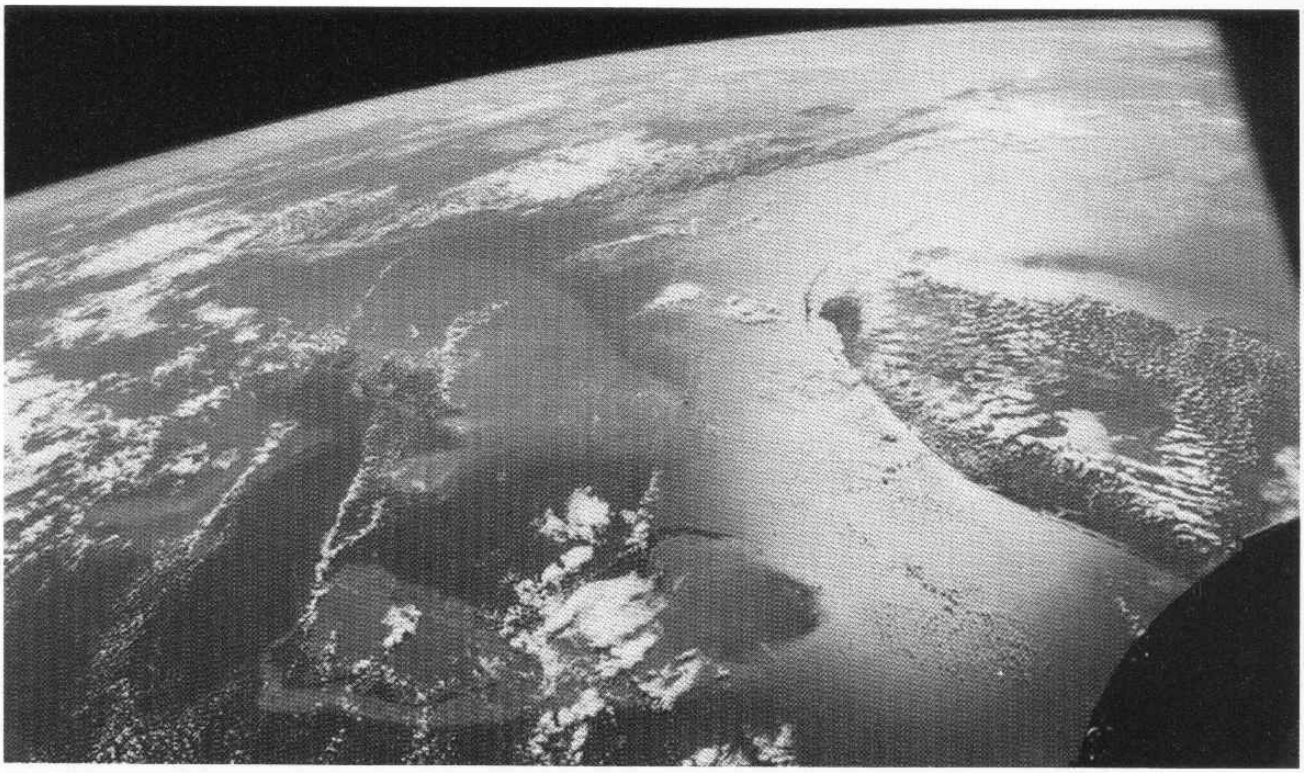

Fig.5 Una ripresa fortemente obliqua della Florida meridionale (a destra), Isole Bahamas (al centro) e Cuba (sullo sfondo, coperta di nuvole). Volo della 'Gemini XII' (12 novembre 1966), astronauti James A. Lovell Jr. e Edwin E. Aldrin; altitudine 333 km (*NASA / MSC*).

solare, la conseguente sovraesposizione e la perdita di particolari rendano impossibile interpretare l'immagine. La fotografia fornisce invece alcune delle informazioni più significative finora acquisite attraverso la fotografia orbitale; essa è stata scattata in direzione sud-ovest poco dopo che la 'Gemini XII' era passata al di sopra della costa orientale della Florida. Al centro del riflesso solare nel mare è visibile il sottile allineamento delle Florida Keys, delle Marquesas Keys e delle Dry Tortugas, che bordano le coste meridionali della Florida, a sua volta visibile a destra nella foto. A sinistra il Little Bahama Bank (in primo piano) da cui emergono l'Isola Grand Bahama (coperta da un vasto cumulo) e le Great e Little Abaco. All'estrema sinistra, nella zona centrale della foto, quasi interamente coperta di nuvole, l'Isola Eleuthera e, nel corridoio fra i due sistemi nuvolosi rettilinei, l'Isola di New Providence, dove si trova la città orientale e centrale sono coperte da estesi banchi di nuvole, mentre rimane abbastanza scoperta la zona occidentale con la città dell'Avana e, dietro, l'Isla de Pinos. In prossimità dell'orizzonte, in alto a destra nella foto, si intravede la Penisola dello Yucatan. Il vento, nel periodo in cui fu scattata la fotografia, spirava verso sud-ovest sulle Bahamas, tendendo invece più a ovest sulla Florida e su Cuba. Anche se non fossero disponibili i dati meteorologici provenienti dalle varie stazioni di osservazione, l'orientamento dei venti sarebbe facilmente ricostruibile in base alla disposizione dei sistemi di nubi. Le zone di calma del vento, in quanto corrispondono ad acque con minor moto ondoso e più lisce, sono visibili nel punto di riflessione della luce solare, sottovento rispetto alle isole, ai bassifondi e ai promontori. Tali sacche di calma del vento sono visibili solo perché nell'inquadratura è ripreso il riflesso della luce sode Pinos e di Capo San Antonio, sempre nella zona di Cuba. Un'altra sacca è visibile lungo le coste occidentali della Florida ed è parallela a esse: qui la superficie dell'acqua appare increspata sia vicino alla costa, sia in mare aperto e riflette la luce solare diffondendola; in mezzo appare una zona in cui l'acqua ha colore blu scuro, cioè è più calma. Dato che la zona si trova in mare aperto e non è collegabile ad alcun effetto di copertura rispetto al vento che increspa le acque nelle zone circostanti, se ne deve dedurre che qui l'acqua si muove nella stessa direzione del vento. Cosicché il cuneo di acqua blu scura rivolto verso terra rappresenta una divergenza dove l'acqua profonda risale in superficie: e non è certo una coincidenza che le acque in questa zona siano particolarmente pescose. La prua del veicolo spaziale (visibile in basso a destra, nella foto) è rivolta verso un tratto dell'allineamento di cumuli che segue costantemente le zone guente al fatto che la corrente esce dalle strette del Little Bahama Bank.

Oceanografi, meteorologi e geologi possono dunque imparare molte cose proprio da questa fotografia, che è stata definita di basso livello tecnico.

Le fotografie riprodotte sono state eseguite con apparecchi fotografici Hasselblad supergrandangolare, con obiettivo Zeiss Biogon di lunghezza focale 38 mm (f = 4,5), eccetto la FIG. *3, eseguita ancora con apparecchio Hasselblad ma con obiettivo di lunghezza focale 80 mm (f = 2,8).*

ROBERT E. STEVENSON

Bibliografia: R. E. Stevenson, R. M. Nelson, *An index of ocean features photographed from Gemini spacecraft*, Earth Resources Survey Program, contribution n. 253, Bureau of Commercial Fisheries, Biological Laboratory, Galveston (1968); R. E. Stevenson, *A description of oceanographic features photographed from Gemini spacecraft*, contribution n. 273, Bureau of Commercial Fisheries, Biological Laboratory, Galveston.